

OPTIMASI TEKNIK STRUKTUR ATAS JEMBATAN BETON BERTULANG (STUDI KASUS: JEMBATAN DI KABUPATEN PEGUNUNGAN ARFAK)

Christhy Amalia Sapulete

Servie O. Dapas, Oscar H. Kaseke

Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado

Email: chychy.sapulete@gmail.com

ABSTRAK

Dalam bidang ilmu Teknik Sipil, optimasi bertujuan untuk memperoleh hasil desain yang ekonomis. Salah satu cara adalah dengan membandingkan hasil perencanaan dari beberapa alternatif.

Dalam penulisan ini, optimasi teknik diaplikasikan terhadap perencanaan struktur atas jembatan beton bertulang berbentuk studi kasus terhadap tipe Jembatan Gelagar Beton Bertulang Balok "T" di Kabupaten Pegunungan Arfak dengan bentang jembatan 20 m dan lebar 10 m, dibandingkan dengan alternatif lain, yakni dengan tipe Jembatan Gelagar Boks Beton. Analisis perencanaan menggunakan standar pembebanan RSNI T-02-2005 dan menggunakan data yang sesuai dengan perencanaan semula.

Dari analisis yang dilakukan dengan menggunakan standar pembebanan RSNI T-02-2005 diperoleh bahwa gelagar balok "T" yang telah direncanakan semula dalam kasus ini tidak memenuhi syarat penulangan sehingga dilakukan perencanaan kembali tulangan yang memenuhi syarat untuk digunakan pada gelagar balok "T" dan direncanakan ulang dalam bentuk tipe Jembatan Gelagar Boks Beton dengan menggunakan besar beban yang sama, diperoleh hasil optimasi bahwa gelagar boks dapat mereduksi penggunaan jumlah penulangan dan volume beton dibandingkan dengan gelagar balok T.

Kata Kunci: *Struktur Atas Jembatan Beton Bertulang, Pembebanan RSNI-T-02-2005, Gelagar Balok T, Gelagar Boks Beton*

PENDAHULUAN

Latar Belakang Masalah

Konstruksi jembatan yang berfungsi untuk menghubungkan lalu lintas jalan raya dapat dibuat dengan berbagai alternatif tergantung pada kondisi topografinya dan perlintasan jalan yang direncanakan.

Pada jaringan jalan raya di Kabupaten Pegunungan Arfak, Provinsi Papua Barat, terdapat beberapa pembangunan konstruksi jembatan, dan terbanyak yang dibangun adalah jenis jembatan beton bertulang. Salah satu dari jembatan tersebut melintasi sungai Inggemun yang terletak diantara Kampung Penibut dan Kampung Ulong, Kabupaten Pegunungan Arfak. Struktur bangunan atas untuk jembatan ini direncanakan mengikuti Standar Jembatan Gelagar Beton Bertulang Balok "T" yang dikeluarkan oleh Bina Program Jalan, Direktorat Jendral Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum. Jaringan jalan raya di daerah ini sedang dalam masa pembangunan sehingga akan ada lalu lintas berupa jenis kendaraan seperti truk dan

alat berat lain. Jembatan tersebut direncanakan dengan bentang 20 m dan lebar rencana jembatan 10 m.

Struktur jembatan beton bertulang dapat dibuat dengan berbagai alternatif, maka dalam tugas akhir ini akan ditinjau alternatif selain dari konstruksi Jembatan Gelagar Beton Bertulang Balok "T", yakni dengan tipe Jembatan Gelagar Boks Beton. Tipe Jembatan Gelagar Boks Beton lebih ekonomis digunakan untuk bentang $\pm 18 - 30$ m, sehingga akan dihitung optimasi dari penggunaan tipe Jembatan Gelagar Boks Beton dibandingkan dengan tipe Gelagar Beton Bertulang Balok "T" untuk bentang 20 m.

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kapasitas struktur bangunan atas dari perencanaan jembatan yang telah ada dan merencanakan struktur bangunan atas dari tipe jembatan gelagar boks beton serta membandingkan hasil dari kedua tipe jembatan tersebut.

Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah dapat membandingkan alternatif lain dari standar struktur jembatan yang ada.

TINJAUAN PUSTAKA

Jembatan

Jembatan adalah suatu konstruksi yang dibuat untuk menghubungkan atau meneruskan jalan yang satu dengan yang lainnya yang melalui suatu rintangan yang berada jauh lebih rendah. Konstruksi suatu jembatan terdiri dari bangunan atas dan bangunan bawah.

Pembebanan Jembatan

Perhitungan pembebanan yang bekerja pada jembatan dihitung berdasarkan Standar Pembebanan untuk Jembatan RSNI-T-02-2005, dengan beban-beban yang ditinjau, yaitu:

a. Berat Sendiri

Berat sendiri adalah beban mati dari struktur jembatan yang merupakan berat dari material jembatan dan bersifat permanen.

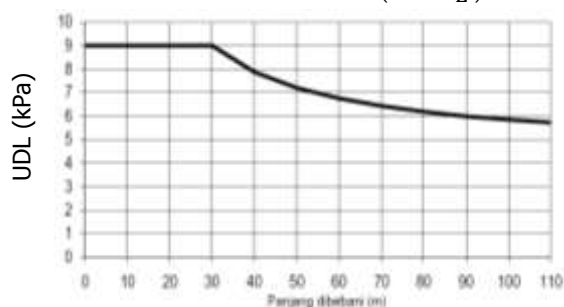
b. Beban Lajur "D"

Beban lajur "D" merupakan beban transien yang diperhitungkan sebagai akibat dari beban kendaraan. Beban lajur "D" terdiri dari:

- o *Uniformly Distributed Load* (UDL): UDL mempunyai intensitas q (dalam kPa), dimana besarnya tergantung pada panjang total yang dibebani L (bentang jembatan) seperti berikut:

Untuk $L \leq 30$ m: $q = 9.0$ kPa

Untuk $L > 30$ m: $q = 9.0 \left(0.5 + \frac{15}{L} \right)$ kPa



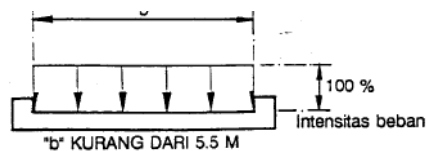
Grafik 1. Beban UDL terhadap bentang

Sumber : RSNI T-02-2005

- o *Knife Edge Load* (KEL): dengan besarnya intensitas p adalah 49.0 kN/m, dan ditempatkan tegak lurus dari arah lalu lintas pada jembatan.

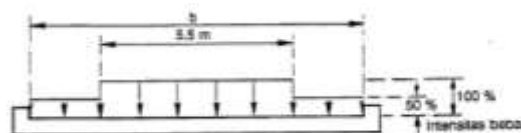
Penyebaran Beban "D" pada Arah Melintang: Intensitas beban lajur "D" untuk beban UDL maupun KEL dipengaruhi oleh lebar jembatan. RSNI T-02-2005 memberikan penyebaran beban "D" terhadap lebar jembatan sebagai berikut:

- o Lebar jembatan $b < 5.5$ m



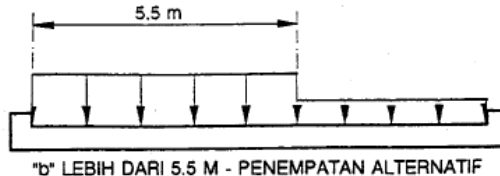
Pada kondisi ini, beban "D" dianggap bekerja 100% pada seluruh lebar jembatan.

- o Lebar jembatan $b > 5.5$ m



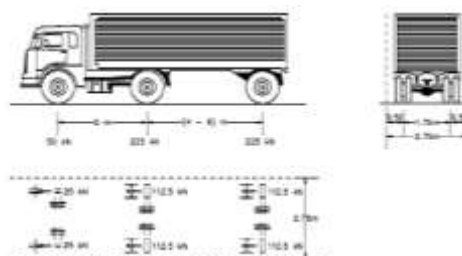
Pada kondisi ini, beban "D" dianggap bekerja 100% pada 5.5 m di tengah bentang jembatan, dan bekerja 50% pada bagian yang lain.

- o Susunan alternative untuk lebar jembatan $b > 5.5$ m



Pada kondisi ini, beban "D" dianggap bekerja 100% pada 5.5 m di tepi bentang jembatan, dan bekerja 50% pada bagian yang lain.

c. Beban Truk "T"

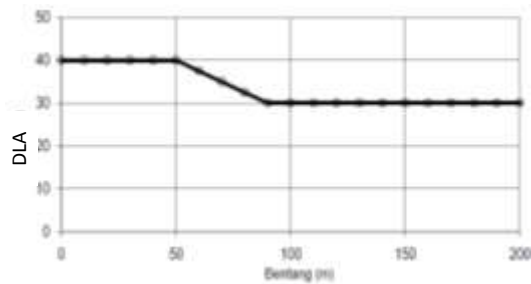


Gambar 1. Beban Truk "T" (500 kN)

Sumber : RSNI T - 02 - 2005

d. Dynamic Load Allowance (DLA)

Untuk beban garis KEL: DLA merupakan fungsi dari panjang bentang ekuivalen (Grafik 2)



Grafik 2. Faktor Beban Dinamis untuk KEL pada Pembebanan Lajur "D"

Sumber : RSNI T-02-2005

Untuk beban truk "T": diambil DLA 30%. Harga DLA yang dihitung, digunakan pada seluruh bagian bangunan yang berada diatas permukaan tanah.

e. Beban Angin

Jika suatu kendaraan sedang berada diatas jembatan, beban garis merata tambahan arah horizontal harus diterapkan pada permukaan lantai seperti diberikan dengan rumus:

$$T_{EW} = 0.0012 * C_W * (V_W)^2 * A_b$$

dimana:

- T_{EW} = Gaya akibat beban angin
- V_W = Kecepatan angin rencana
- C_W = Koefisien seret
- A_b = luas koefisien bagian samping jembatan

f. Gaya Rem

Pengaruh gaya rem diperhitungkan sebesar 5% dari beban "D" tanpa dikalikan dengan faktor dinamis, dimana gaya rem dianggap bekerja horizontal dengan titik tangkap setinggi 1.80 m di atas permukaan lantai kendaraan.

g. Gaya akibat Gempa

Pengaruh gempa pada struktur sederhana disimulasikan oleh beban statik ekuivalen. Beban rencana gempa minimum diperoleh dari rumus:

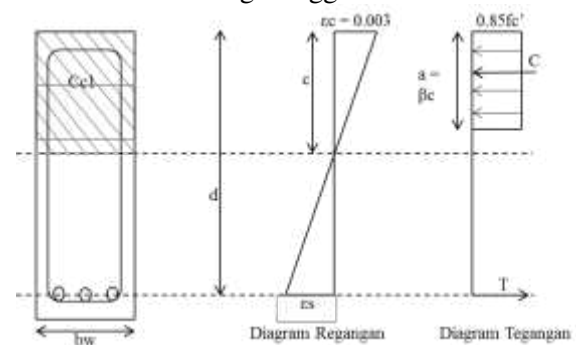
$$T_{EQ} = K_h * I * W_T$$

dimana:

- T_{EQ} = Gaya geser dasar total dalam arah yang ditinjau
- I = Faktor kepentingan
- W_T = Berat nominal bangunan yang mempengaruhi percepatan gempa
- K = Koefisien gempa, $K_h = C * S$
- C = Koefisien geser dasar untuk daerah, waktu dan kondisi setempat
- S = Faktor tipe bangunan

Analisis Beton Bertulang

a. Beton Bertulang Tunggal



Besarnya faktor blok tegangan persegi ekuivalen (β) bergantung pada nilai mutu beton, yaitu:

Untuk $f_c' \leq 30$ Mpa, maka $\beta = 0.85$

Untuk $f_c' > 30$ Mpa, maka β dihitung:

$$\beta = 0.85 - \frac{0.05(f_c' - 30)}{7}$$

Dari gambar diatas, resultan gaya yang terjadi adalah sebagai berikut:

Gaya tekan beton yang terjadi:

$$C = 0.85f_c' * a * b \quad (1)$$

Gaya tarik baja tulangan yang terjadi:

$$T = A_s * f_y \quad (2)$$

Dengan (Pers. 1) sama dengan (Pers. 2), maka keseimbangan gaya horizontal yang terjadi:

$$C = T \quad (3)$$

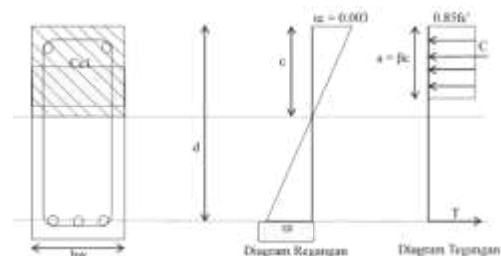
$$0.85f_c' * a * b = A_s * f_y$$

$$a = \frac{A_s * f_y}{0.85f_c' * b} \quad (4)$$

Dengan jarak antara resultan gaya tekan beton dan gaya tarik tulangan sejauh $d - a/2$, sehingga momen internal akan dihitung:

$$M_u = A_s * f_y * (d - a/2) \quad (5)$$

b. Beton Bertulang Ganda



Dari gambar diatas, resultan gaya yang terjadi adalah sebagai berikut:

Gaya tekan beton yang terjadi:

$$C_{c1} = 0.85f_c' * (a * b - A_s') \quad (6)$$

$$C_s = A_s' * f_s' \quad (7)$$

Gaya tarik baja tulangan yang terjadi:

$$T = A_s * f_y \quad (2)$$

Total gaya tekan yang bekerja pada beton (Pers. 6) dan (Pers. 7) sama dengan gaya tarik yang bekerja pada baja tulangan (Pers. 2), maka keseimbangan gaya horizontal yang terjadi:

$$C = T \quad (3)$$

$$0.85f_c' * (a * b - A_s') + A_s' * f_s' = A_s * f_y$$

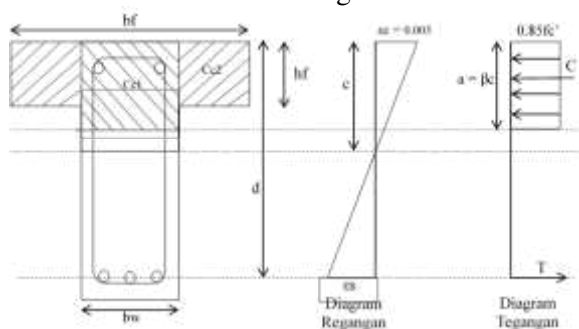
Dalam desain tulangan beton, digunakan nilai α yang merupakan rasio tulangan tarik terhadap tulangan tekan dengan interval nilai α adalah $0 < \alpha < 1$

$$A_s' = \alpha * A_s \quad (8)$$

α = rasio tulangan tekan terhadap tulangan tarik, diambil $0 < \alpha < 1$

$$A_s = \frac{0.85f_c' * \alpha * a * b}{f_y + \alpha(0.85f_c' - f_s')} \quad (9)$$

c. Balok T Beton Bertulang



Dari gambar diatas, resultan gaya yang terjadi adalah sebagai berikut:

Gaya tekan beton yang terjadi:

$$C_{c1} = 0.85f_c' * (a * b - A_s') \quad (\text{Pers. 10})$$

$$C_{c2} = 0.85f_c' * (b_f - b_w) * t_f \quad (\text{Pers. 11})$$

$$C_s = A_s' * f_s' \quad (\text{Pers. 7})$$

Gaya tarik baja tulangan yang terjadi:

$$T = A_s * f_y \quad (\text{Pers. 2})$$

Keseimbangan gaya horizontal yang terjadi:

$$\Sigma H = 0$$

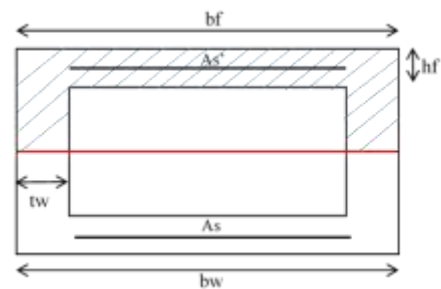
$$C_{c1} + C_{c2} + C_s = T \quad (\text{Pers. 3})$$

$$0.85f_c' * (a * b_w - A_s') + 0.85f_c' * (b_f - b_w) * t_f + A_s' * f_s' = A_s * f_y$$

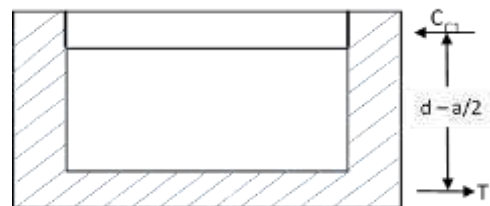
$$A_s = \frac{0.85[a * b_w + (b_w - b_f) * t_f]}{f_y + \alpha(0.85f_c' - f_s')} \quad (\text{Pers. 12})$$

d. Balok Boks Beton Bertulang

Analisis balok boks dalam segala hal tidak berbeda dengan prinsip balok persegi. Bentuk tidak menjadi sesuatu hal yang rumit bila diperoleh titik berat penampang yang tertekan setinggi tinggi balok tekan a. Bila disamakan $b_w = b_f$, maka analisis balok boks sama dengan balok T.



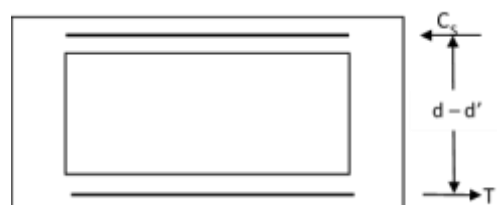
Diuraikan sebagai berikut:



$$C_{c1} = 0.85f_c' * (a * b - A_s') \quad (\text{Pers. 10})$$



$$C_{c2} = 0.85f_c' * (b_f - b_w) * t_f \quad (\text{Pers. 11})$$



$$C_s = A_s' * f_s' \quad (\text{Pers. 7})$$

Gaya tarik baja tulangan yang terjadi:

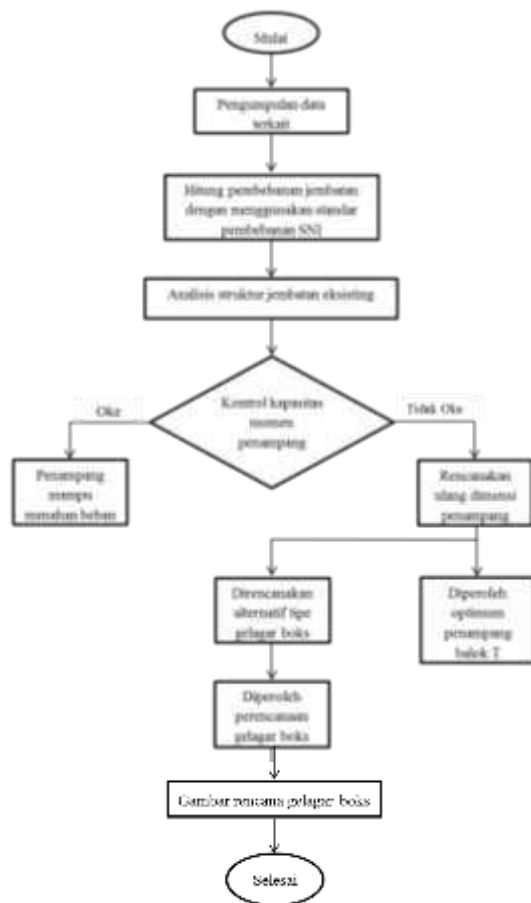
$$T = A_s * f_y \quad (\text{Pers. 2})$$

METODOLOGI PENELITIAN

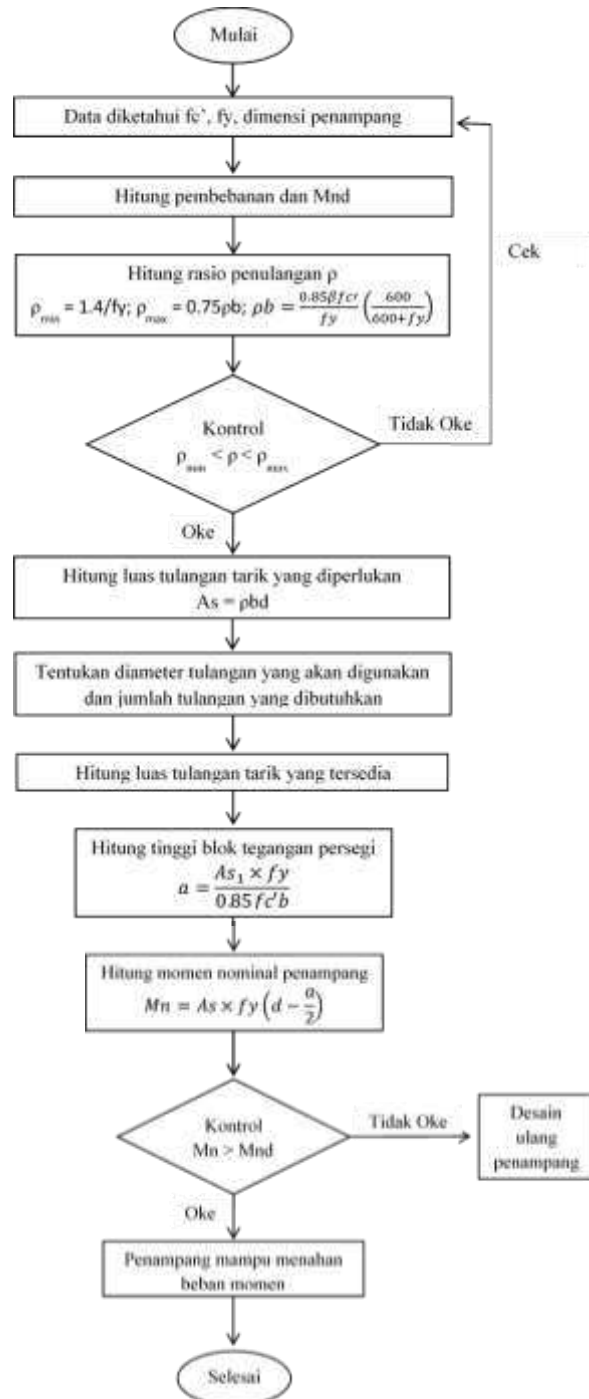
Prosedur Penelitian

Metode penelitian dalam menyusun tugas akhir ini merupakan studi pustaka dan studi terapan dan proses perencanaan struktur atas jembatan beton bertulang yang telah ada.

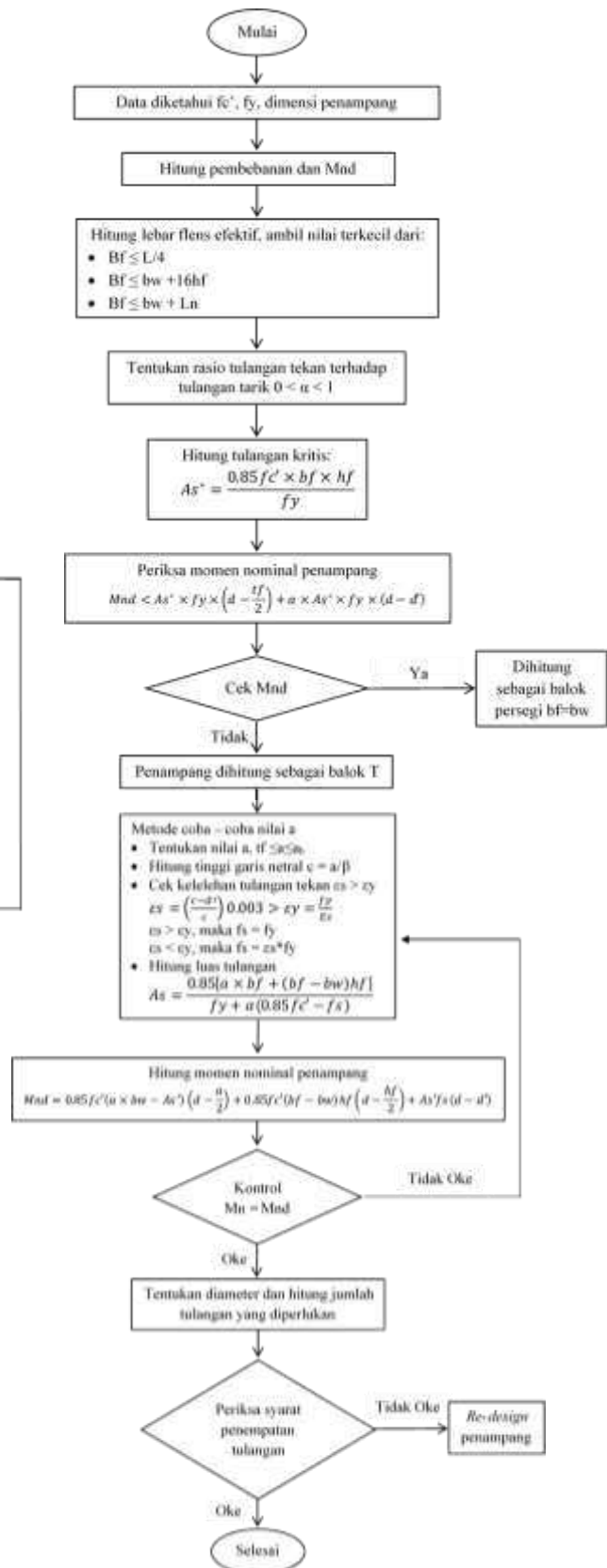
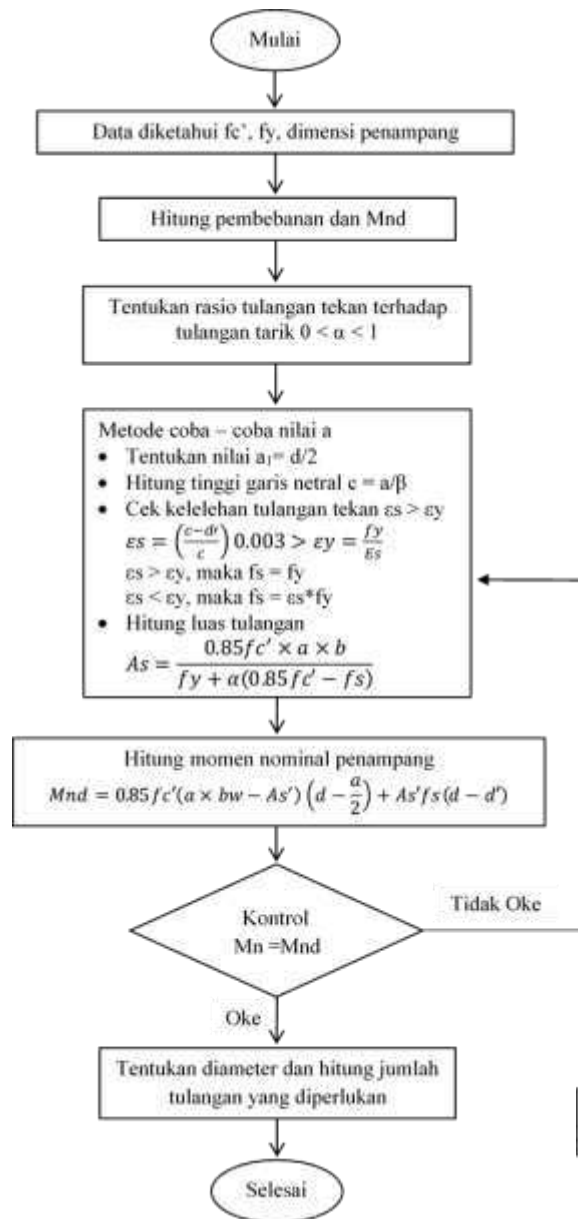
Tahapan Penelitian



Prosedur Desain Tulangan Tunggal Balok Persegi



Prosedur Desain Tulangan Ganda Balok Persegi



PERHITUNGAN STRUKTUR ATAS JEMBATAN

Analisis Struktur Atas Jembatan Gelagar Balok T

Dari hasil perhitungan pembebanan berdasarkan Standar Pembebanan untuk Jembatan RSNI-T-02-2005, diperoleh:

o Kombinasi Momen Ultimit

Beban	Faktor Beban	M (kN.m)	Komb. 1 (kN.m)	Komb. 2 (kN.m)	Komb. 3 (kN.m)	Komb. 4 (kN.m)
Berat Sendiri	1,30	2156,25	2803,13	2803,13	2803,13	2803,13
Beban Mati Tambahan	2,00	134,50	269,00	269,00	269,00	269,00
Beban Lajur "D"	1,80	4956,25	8921,25	8921,25		
Gaya Rem	1,20	10,31		12,37		
Beban Angin	1,80	882,17			1587,90	
Beban Gempa	1,00	774,50				774,50
			11993,38	12005,74	4660,02	3846,63

Momen rencana = 12005,74 kN.m

o Kombinasi Gaya Geser

Beban	Faktor Beban	V (kN)	Komb. 1 (kN)	Komb. 2 (kN)	Komb. 3 (kN)	Komb. 4 (kN)
Berat Sendiri	1,30	431,25	560,63	560,63	560,63	560,63
Beban Mati Tambahan	2,00	26,90	53,80	53,80	53,80	53,80
Beban Lajur "D"	1,80	991,25	1784,25	1784,25		
Gaya Rem	1,20	1,05		1,24		
Beban Angin	1,80	4,41			7,94	
Beban Gempa	1,00	154,90				154,90
			2398,68	2399,91	622,36	769,33

Gaya geser rencana = 2399,91 kN

Dari hasil analisis struktur, diperoleh bahwa struktur penampang dalam studi kasus, yaitu tipe Gelagar Balok T, hanya mampu menahan beban momen sebesar 5072,121 kN.m. Perencanaan struktur dalam studi kasus mengikuti Standar Jembatan Gelagar Beton Bertulang Balok "T" yang dikeluarkan oleh Bina Program Jalan, Direktorat Jendral Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum yang menggunakan standar pembebanan dari Peraturan Muatan untuk Jembatan Jalan Raya No.12 Tahun 1970, sehingga dengan menggunakan Standar Pembebanan untuk Jembatan RSNI-T-02-2005, struktur yang direncanakan semula tidak mampu menahan beban momen akibat pembebanan.

Dengan beban momen yang sama, dihitung kembali penulangan untuk struktur jembatan gelagar balok T.

As mm ²	As' mm ²	D mm	n	
			tarik	tekan
20994,92	4198,98	32	27	6

Perencanaan Struktur Atas Jembatan Gelagar Boks

Dengan menggunakan beban momen yang sama besar, direncanakan ulang struktur atas jembatan dengan tipe Gelagar Boks Beton.

o Perhitungan Pelat Lantai Jembatan

Tulangan Pokok			Tulangan Bagi			
D mm	As mm ²	Jarak mm	D mm	As mm ²	n	Jarak mm
16	3015,93	75	16	1507,96	8	135

o Perhitungan Tulangan Balok Gelagar

Tulangan lentur

As mm ²	As' mm ²	D mm	n	
			tarik	tekan
18577,78	3175,56	32	24	5

Dan dengan sengkang yang dipakai 2D12 – 120

PENUTUP

Kesimpulan

- Dengan menggunakan standar pembebanan dari RSNI T-02-2005, struktur atas jembatan gelagar balok T yang telah direncanakan dalam studi kasus tidak mampu menahan beban momen akibat pembebanan. Sehingga tanpa mengubah dimensi dari struktur semula, telah dihitung kembali penulangan struktur semula untuk menahan momen lentur akibat beban.
- Diperoleh hasil perencanaan tulangan lentur yang digunakan pada struktur semula, yaitu tulangan tarik 27Ø32 dan tulangan tekan 6Ø32.
- Dengan perbandingan terhadap beban momen yang sama besar, diperoleh bahwa gelagar boks lebih mereduksi penggunaan penulangan dibandingkan dengan gelagar balok T. Dari desain alternatif, yaitu gelagar boks beton, diperoleh hasil perencanaan tulangan lentur yang digunakan adalah sebanyak 24Ø32 tulangan tarik dan tulangan tekan 5Ø32. Dengan tulangan geser yang digunakan, 2D12 – 120.

- Dengan hasil yang lebih efisien, jembatan gelagar boks mampu mengoptimasi gelagar balok T dari segi kekuatan struktur yang mampu menahan beban dan dari segi penggunaan material struktur.

Saran

- Kondisi perencanaan jembatan eksisting yang masih mengikuti standar pembebanan Peraturan Muatan untuk Jembatan Jalan Raya No. 12/1970 tidak cukup mampu menahan beban yang telah dikaji ulang

dalam RSNI T-02-2005. Maka disarankan dalam perencanaan selanjutnya untuk mengikuti standar pembebanan yang telah dikaji dalam versi terbaru untuk memenuhi kebutuhan perencanaan dalam menghasilkan jembatan yang layak digunakan.

- Jika akan ada yang melakukan penulisan tugas akhir tentang jembatan, disarankan untuk mencari optimum dimensi penampang dan jarak antar gelagar untuk kedua jenis gelagar dalam bentang yang tersedia.

DAFTAR PUSTAKA

- , *Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan Bagian 2 – Beban Jembatan*, Bridge Management System 1992
- , *Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan*, RSNI T-12-2004, Standar Nasional Indonesia
- , *Gambar Standar Pekerjaan Jalan dan Jembatan Volume Dua*, 2005. Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Bina Marga
- , *Standar Pembebanan untuk Jembatan*, RSNI T-02-2005, Standar Nasional Indonesia
- , *Perencanaan Struktur Beton Bertulang untuk Jembatan*, 2008. Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Bina Marga
- Supriyadi, Bambang; Muntohar, Agus Setyo, 2005, *Jembatan*, Edisi Pertama, Cetakan kelima, Penerbit Beta Offset, Yogyakarta.